

Bouchon vaseux du système estuarien Garonne-Dordogne-Gironde

Synthèse des connaissances

NB : Les données et figures sont toutes issues des réunions scientifiques réalisées pour le Comité technique MAGEST par les scientifiques de l'Université de Bordeaux 1.

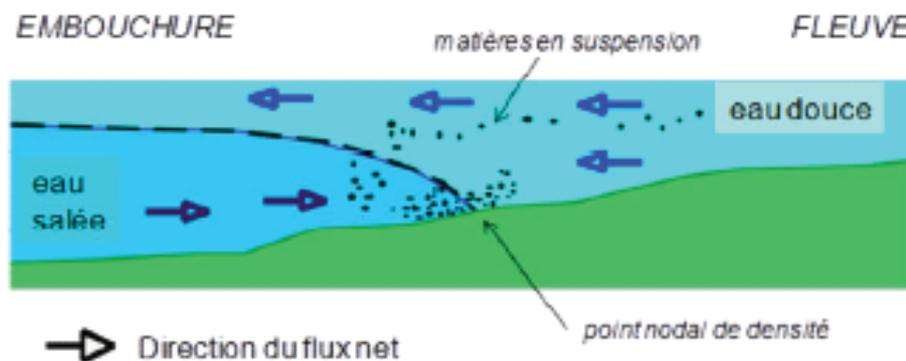
Le système estuarien Garonne-Dordogne-Gironde est un ensemble constitué de l'estuaire de la Gironde (issu de la confluence de la Garonne et de la Dordogne au niveau du Bec d'Ambès) et des parties soumises à l'influence des marées à aval de la Garonne (de Castet-en-Dorthe au Bec d'Ambès) et de la Dordogne (de Castillon-la-Bataille au Bec d'Ambès).

1. Généralités

1.1 Origine du bouchon vaseux

Le bouchon vaseux est un phénomène caractéristique des estuaires. Il s'agit d'une zone de turbidité (teneur en matières en suspension) élevée due au blocage des sédiments en suspension apportés par le fleuve. Ce blocage est dû à la rencontre des eaux douces et des eaux marines salées en un point nodal de densité. Dans les estuaires à marée, la turbidité et l'effet de blocage sont amplifiés par l'action des courants.

Le bouchon vaseux est caractérisé par une turbidité très importante avec des concentrations en sédiments bien supérieures à 1 g par litre. Sa taille et sa position évoluent selon les conditions hydrologiques propres à l'estuaire : débits fluviaux et cycles de marée.



1.2 L'estuaire de la Gironde

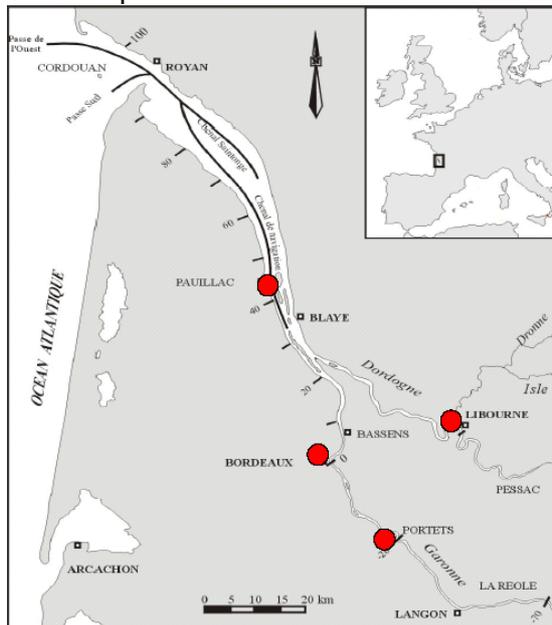
La Gironde est un des plus vastes estuaires européens avec ses 625 km² de superficie et une influence marine s'exerçant à plus de 150 km en amont de l'embouchure. La Gironde présente également la particularité d'être le seul estuaire ouest européen possédant encore tout son cortège de poissons migrateurs amphihalins.

Avec un débit moyen d'environ 950 m³/s sur les 30 dernières années, la Gironde est l'exutoire d'un vaste bassin versant dont 65 % du débit provient de la Garonne (57 000 km²) et 35 % de la Dordogne (24 000 km²).

Le stock total de sédiments fins mobiles a été estimé (en 1977) à 5 millions de tonnes. Il est constitué par le bouchon vaseux (matières fines en suspension dans l'eau), qui peut se déposer au fond du lit et former alors de la crème de vase (matière fine déposée au fond du lit et facilement mobilisable) autour de la Pleine Mer et/ou de la Basse Mer quand la courantologie faiblit.

1.3 Le réseau de stations de mesure de la qualité de l'eau de l'estuaire

Depuis fin 2004, le réseau MAGEST est constitué de 4 stations représentatives chacune d'une portion du système estuarien Garonne, Dordogne, Gironde. La station de Portets appartient au Sméag, c'elle de Bordeaux au Grand Port Maritime, celle de Pauillac au Smiddest et cette de Libourne à Epidor.



Ces 4 stations mesurent en continu (1 mesure toutes les 10 minutes) : la température, la salinité, la turbidité et la concentration en oxygène dissous des eaux.

2 Les apports de connaissance liés à Magest

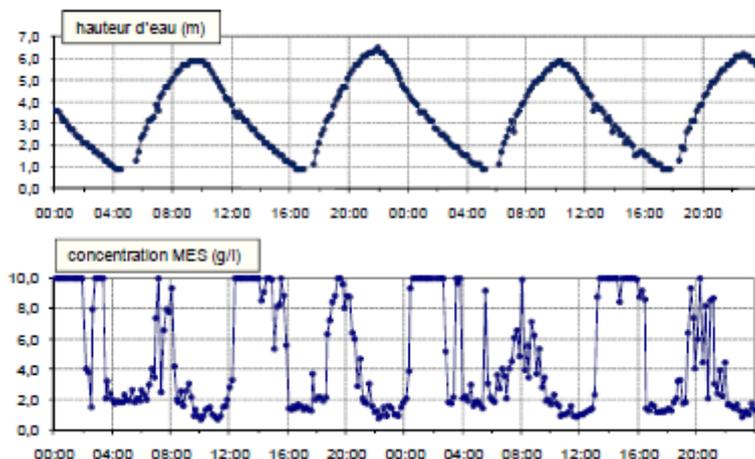
2.1 Dynamique sédimentaire générale

Le bouchon vaseux évolue selon différentes échelles de temps :

- **cycle de la marée :**

La turbidité du bouchon vaseux montre **2 phases d'augmentation à chaque cycle de marée**. Elle est plus importante là mi-marée à cause de la remise en suspension des particules par les courants de flot et de jusant. Elle diminue aux étales de Pleine Mer et Basse Mer (courants faibles et décantation des particules).

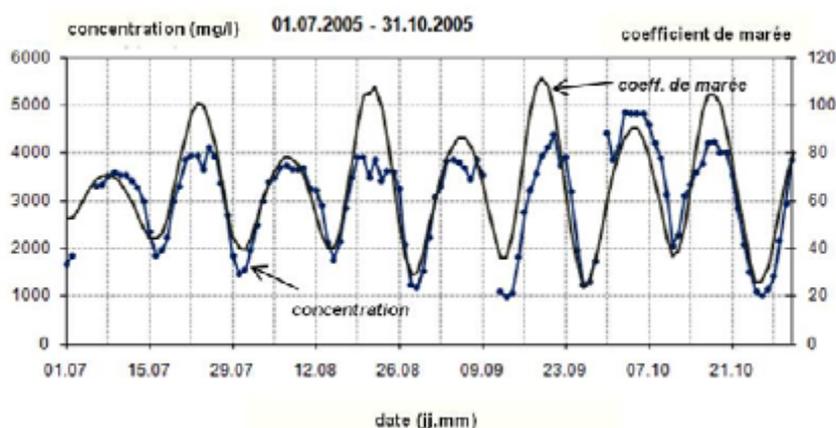
En raison de la déformation de l'onde de marée dans l'estuaire, la durée du flot (marée montante) est plus courte que la durée du jusant (marée descendante). Ceci induit des vitesses de courant plus élevées en **marée montante** et se traduit par une érosion plus forte en flot, une décantation plus importante à Pleine Mer et une **remontée du bouchon vaseux vers l'amont**.



- **échelle mensuelle :**

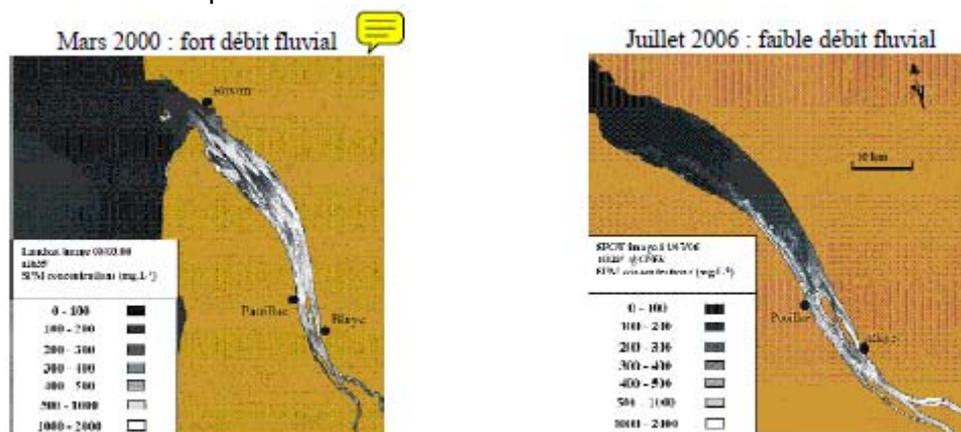
En un mois il y a deux vives-eaux et deux mortes-eaux. En vives-eaux, la Pleine Mer est très haute et la Basse Mer descend très bas. En mortes-eaux, la différence de hauteur d'eau entre Pleine Mer et Basse Mer (marnage) est faible.

La concentration en matières en suspension du bouchon vaseux est directement liée à l'intensité des courants, qui est elle-même liée à l'amplitude de la marée et au marnage. Les courants sont maximums en vives-eaux, la concentration dans le bouchon vaseux est donc plus importante. **La turbidité moyenne au sein du bouchon vaseux va donc varier selon un cycle de 14 jours avec des phases d'élévation et de diminution en fonction des coefficients de marée.**



- **échelle saisonnière :**

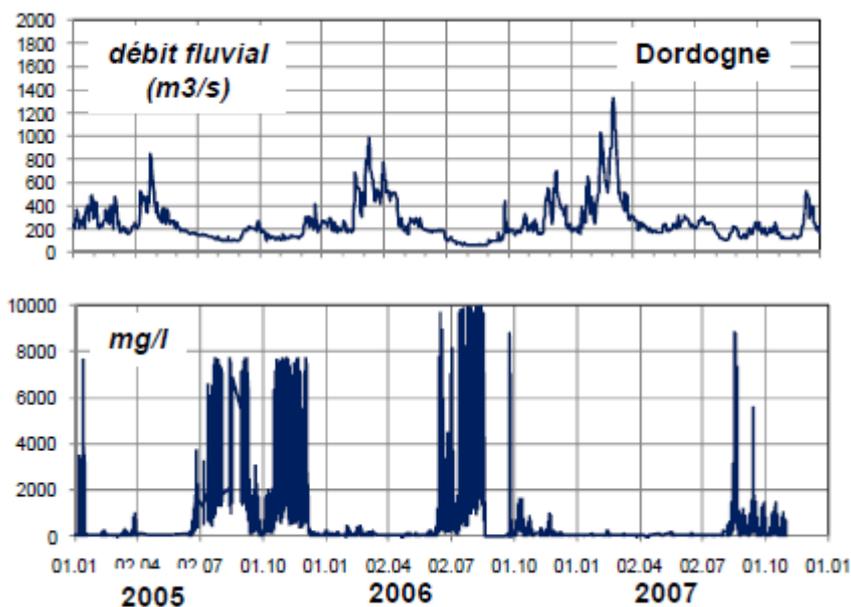
A cette échelle, la position du bouchon vaseux dans l'estuaire varie. En **étiage**, le **bouchon vaseux remonte vers l'amont de l'estuaire** sous l'effet prépondérant de l'onde de marée, qui progresse vers l'amont à cause de débits fluviaux faibles. En crue, il descend vers l'aval de l'estuaire quand le front de salinité est repoussé par les forts débits d'eau douce. En cas de fortes crues, ce déplacement peut conduire à une expulsion de matières à l'extérieur de l'estuaire sous forme de panaches turbides.



2.2 Plus-value MAGEST sur la dynamique sédimentaire

- La condition optimale d'expulsion d'une partie du bouchon vaseux est la conjonction d'une crue soutenue et d'une marée de vives-eaux (bouchon vaseux en position aval et forte remise en suspension des particules au sein du bouchon vaseux).
- La **turbidité à Pauillac** (estuaire central) est **élevée tout au long de l'année** et semble peu sensible aux débits fluviaux, sauf lors d'une très forte crue.
- les turbidités mesurées **sur les stations** amont (Bordeaux, Libourne, Portets) sont beaucoup plus variables. **En étiage**, elles peuvent atteindre des **valeurs moyennes**

journalières beaucoup plus élevées qu'à Pauillac. Cela s'explique par le fait que, lorsque le bouchon vaseux remonte sur les axes fluviaux, la section est plus faible et le BV se « concentre ».



- relations bouchon vaseux/débits :

Pas de tendance claire à Pauillac si ce n'est que, lorsque les débits de crue sont forts, il y a alors déplacement du bouchon vaseux vers une zone plus aval de l'estuaire et donc une diminution éventuelle de la turbidité.

A Bordeaux : aux **débits inférieurs à 200 m³/s, la turbidité est maximale** : le bouchon vaseux est centré sur Bordeaux. De 200 à 1000 m³/s, la diminution de la turbidité semble linéaire. Au-delà, elle semble augmenter de nouveau (reste à valider), avec l'apport d'eau de crue très turbide.

A Libourne : aux **débits inférieurs à 100 m³/s, la turbidité est maximale** : le bouchon vaseux est centré sur Libourne. De 100 à 400 m³/s, la turbidité diminue de manière linéaire. Au-delà de 400 m³/s, elle semble augmenter de nouveau, comme observé à Bordeaux et pour une raison similaire.

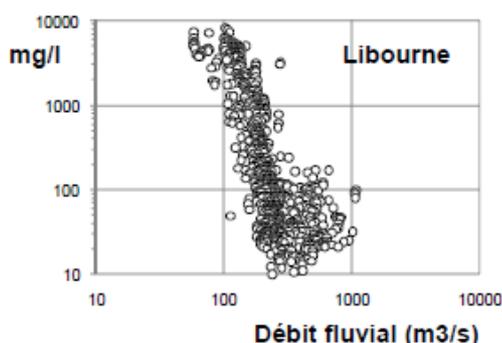


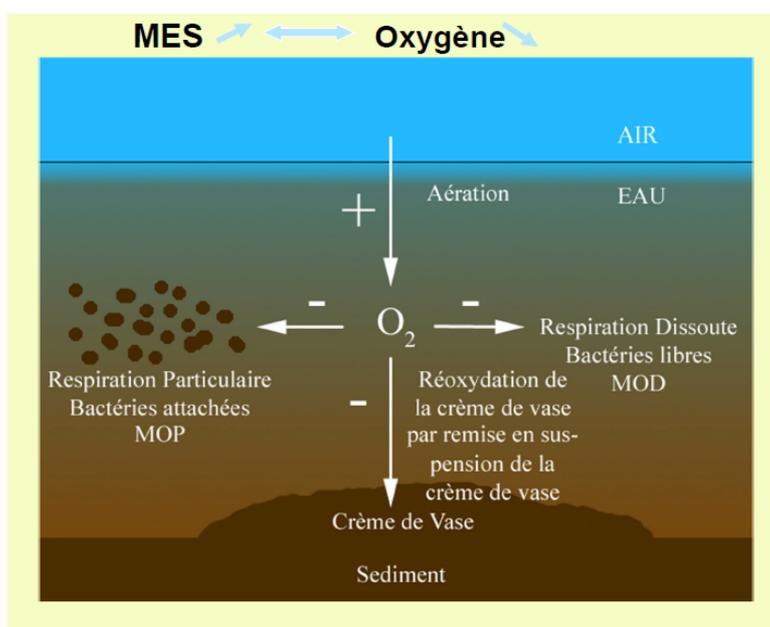
Figure 11 : Turbidité moyenne journalière en fonction du débit fluvial mesuré en amont. Données MAGEST de la stations Libourne de 2005 à 2007.

- Si le bouchon vaseux s'engraisse probablement d'année en année (estimation des expulsions hors estuaire inférieures aux estimations des entrées de MAS), l'engraissement est difficilement chiffrable puisque globalement il y a des taux de sédimentation mesurés comme importants (de l'ordre du cm par an) conduisant à la conclusion que l'estuaire s'envase.

- Dans l'état actuel des connaissances, on considère que, dans l'estuaire, il y a de **5 à 6 millions de T de matières en suspension** (ce qui est équivalent à ce qui est mobilisé annuellement par les dragages réalisés par le Grand Port Maritime de Bordeaux).
- L'analyse des données de débit et de turbidité depuis le début du XXème siècle montre que les débits d'étiage mesurés à l'entrée de l'estuaire ont significativement baissé. Dans le même temps, **le bouchon vaseux remonte plus en amont que par le passé et il stationne plus longtemps dans les sections fluviales.**

2.3 Oxygénation

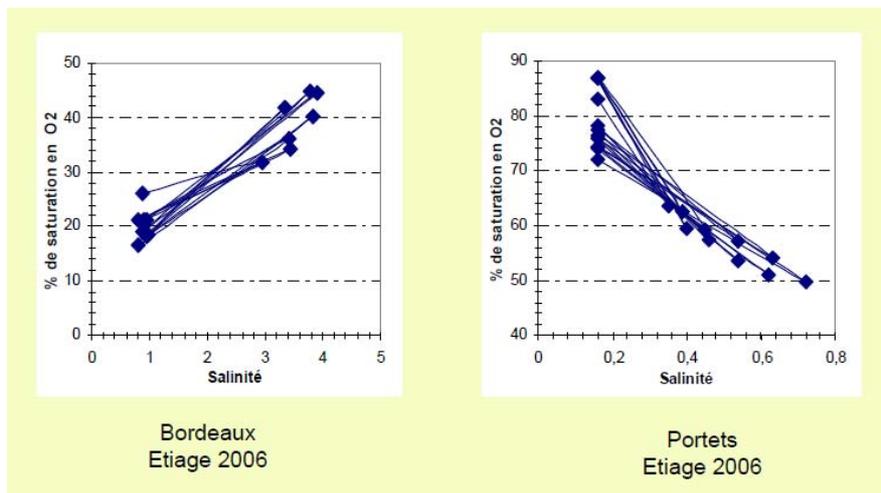
L'oxygène se dissout dans l'eau jusqu'à un équilibre : la saturation, qui dépend de la température et de la salinité de l'eau. Par exemple, la saturation en oxygène de l'eau douce à 20°C sera obtenue à 9,1 mg d'O₂/l contre 7,4 mg d'O₂/l pour une eau de mer à la même température ou 11,3 mg/l pour une eau de mer à 10°C. Au niveau du bouchon vaseux, l'oxygène est principalement apporté par l'aération de l'eau et les eaux marines, **la photosynthèse** y étant négligeable. Tous les autres processus sont consommateurs d'oxygène.



La crème de vase peut devenir anoxique en quelques minutes (15-20 minutes). Sa remise en suspension au sein du bouchon vaseux provoque donc des baisses notables d'oxygène dans la colonne d'eau.

Situation en étiage avec remontée du bouchon vaseux sur les axes fluviaux :

- **Bordeaux** : A Basse Mer : salinité faible et oxygène faible ; à Pleine Mer : salinité plus élevée et oxygène qui remonte. A Basse mer, la station de Bordeaux est sous l'influence de l'eau fluviale chargée par les rejets de la CUB très riches en matières organiques facilement bioassimilable et qui consomment donc de l'oxygène pour se dégrader. A Pleine Mer, la station de Bordeaux reçoit un afflux d'eau plus oxygénée en provenance de l'estuaire.
- **Portets ou Libourne** : la situation est inverse. **La teneur en oxygène mesurée à Basse mer est plus élevée que celle mesurée à Pleine Mer** car à Basse Mer arrivent des eaux fluviales oxygénées, alors qu'à Pleine mer remontent soit les eaux de Bordeaux enrichies en effluents (cas de Portets), soit des eaux chargées en MES du bouchon vaseux (cas de Libourne).

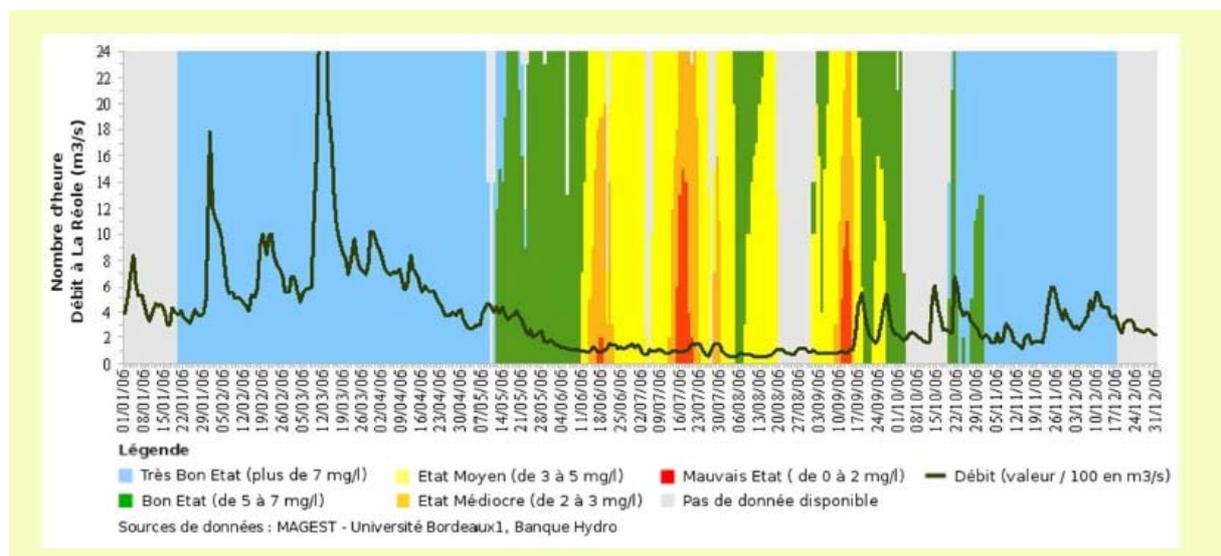


- La zone qui rencontre les **problèmes de sous-oxygénation des eaux les plus marquants s'étend sur une vingtaine ou une trentaine de kilomètres à l'amont et à l'aval de Bordeaux** selon les coefficients de marée en période critique (cas de l'été 2006).

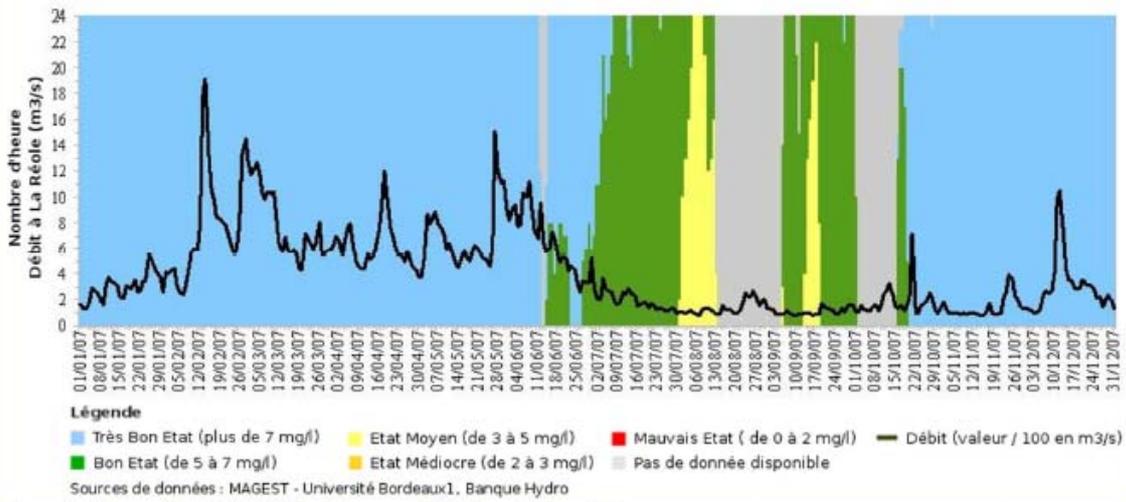
Les problèmes de sous-oxygénation autour du site de Bordeaux en période estivale sont dus à la conjonction :

- de la forte température des eaux
- des faibles oscillations des masses d'eau au cours des cycles de marée
- de la présence du bouchon vaseux en ces lieux
- des émissions d'effluents contenant de fortes charges organiques biodégradables

Le réseau MAGEST a permis de suivre des étiages très différents tels celui de 2006 (étiage très sévère) et ceux de 2007 à 2010 (étiages plus modérés). Un traitement approprié des données permet de **visualiser les périodes à risque au niveau de l'oxygène et le nombre d'heures durant laquelle la situation est très préoccupante.**

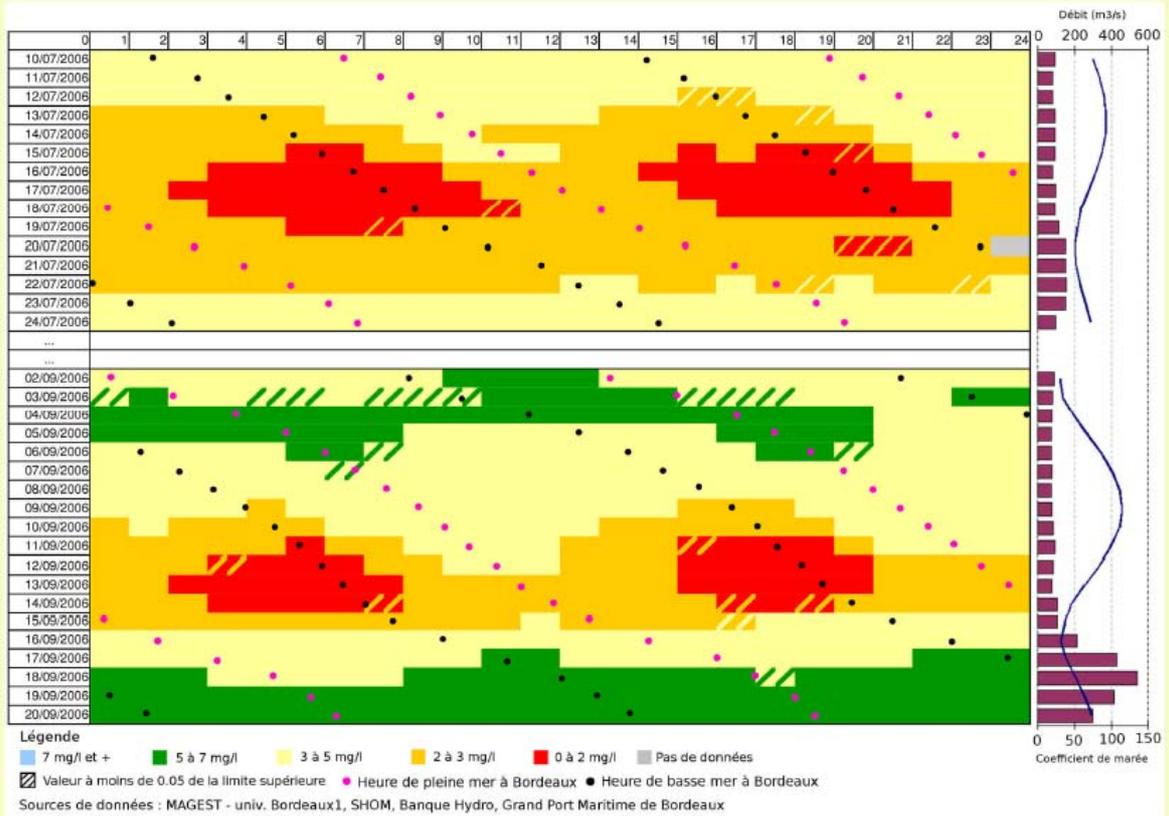


Cas d'un étiage prononcé (2006)

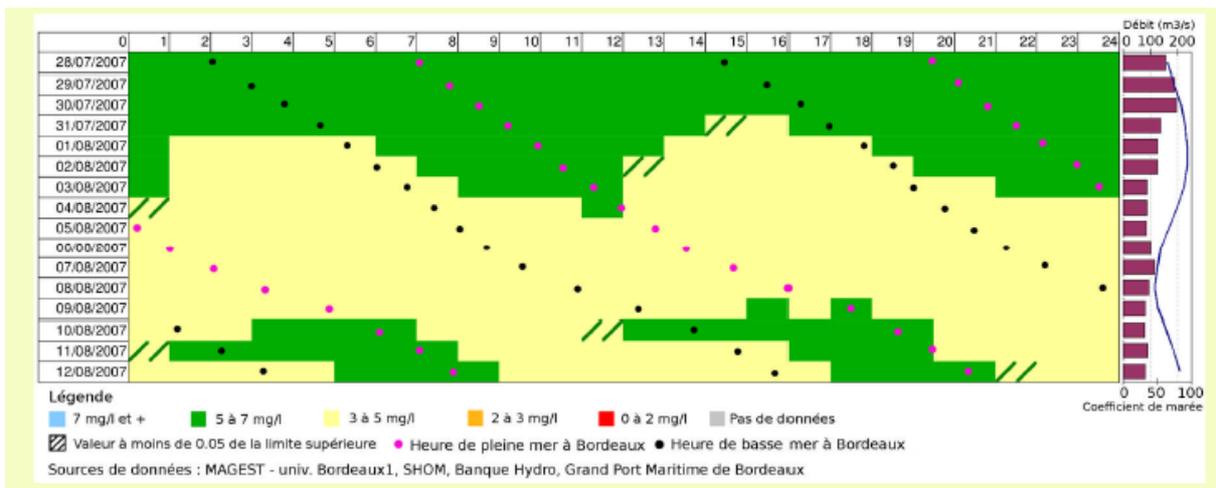


Cas d'un étiage modéré (2007)

Soit de manière plus précise :



Cas d'un étiage prononcé (2006)

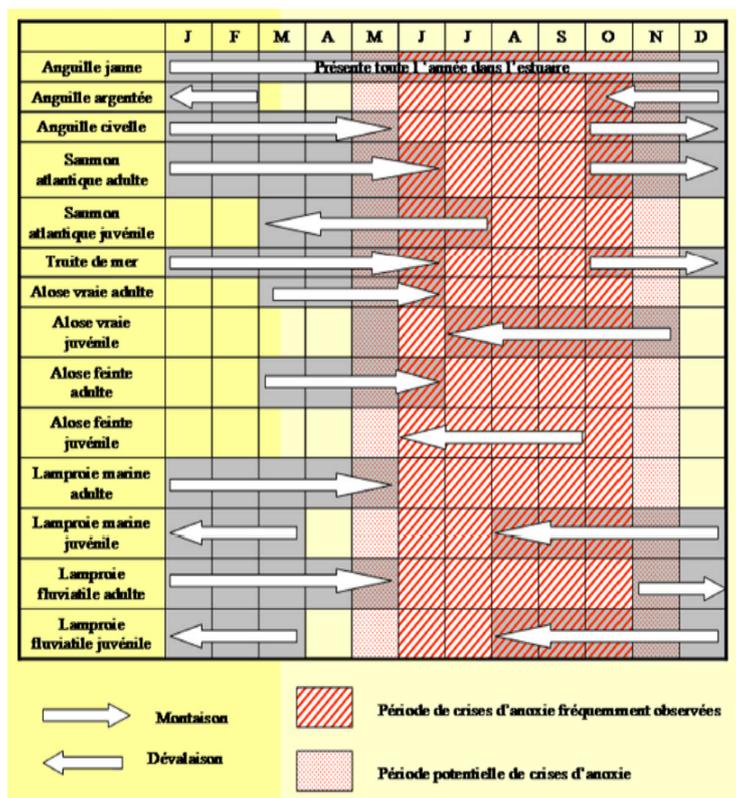


Cas d'un étiage modéré (2007)

Le cas de figure extrême (étiage très sec) ne s'est pas reproduit lors des étiages 2007 à 2010, où les teneurs moyennes journalières minimales d'oxygène avoisinent les 60% de saturation à Libourne et Portets (environ 50% en instantané) et 50% à Bordeaux (30% en instantané). Sur cette dernière période, la qualité des eaux concernant l'oxygène peut être considérée comme « moyenne », et non plus « mauvaise » comme lors de l'été 2006.

2.4 Impact probable sur la biologie

De tels graphiques peuvent être **corrélés aux exigences et aux périodes de migration des poissons pour identifier les périodes défavorables et les durées potentielles d'exposition**. Cela permettra peut-être d'expliquer les observations réalisées sur la Garonne et la Dordogne par le Cemagref



Ce schéma montre par exemple que pour des alosons, dont la dévalaison se produit de juillet à octobre, le franchissement de la zone fluvio-estuarienne autour de Bordeaux sera très problématique lors d'un étiage prononcé, en relation avec la sous-oxygénation des eaux à cette période.

2.5 Impact sur le comportement des métaux

Chaque métal a son propre comportement par rapport aux paramètres salinité, oxygène, température et matières en suspension. Ils ne réagiront donc pas tous de la même manière dans le bouchon vaseux.

Par exemple le Cadmium, avec une seule forme Cd^{2+} , a un comportement assez simple : il s'adsorbe sur les particules et réagit au gradient de salinité. D'autres métaux comme le Molybdène ou l'Uranium, ont des nombres d'électrons variables qui vont changer en fonction des conditions red-ox. Leur partition dans les phases dissoute et particulaire sera donc fonction de l'oxygénation des eaux.

Le paramètre turbidité peut aussi influencer les concentrations de métaux spécifiques bien avant d'atteindre les concentrations caractéristiques du bouchon vaseux.

Par exemple, des études récentes montrent que dans l'estuaire de la Gironde, le cuivre passe de la phase particulaire à la phase dissoute dès 100 mg/l de MES. Sous cette dernière forme il est biodisponible pour différents organismes dont les poissons. Les poissons peuvent donc être « fragilisés » par l'absorption de ces métaux biodisponibles avant même de traverser le cœur du bouchon vaseux.

Les conditions physico-chimiques au sein du bouchon vaseux avec des concentrations généralement supérieures à 1 g/l, et des taux de saturation en oxygène très bas à Bordeaux lors d'étiages secs, peuvent donc avoir un effet très fort sur les concentrations des métaux dans l'eau et des conséquences importantes sur les organismes vivants.

3 Quelques données prospectives

En plus des applications pour la gestion du milieu, l'intérêt scientifique du réseau Magest réside principalement dans le besoin de poursuivre la mesure en continu des principaux paramètres physico-chimiques du milieu, dans le cadre des changements climatiques.

De plus, les mesures de ce type sont très utiles pour caler des modèles de prédiction et d'analyse des processus, aussi bien sur l'hydrodynamique sédimentaire que sur la physico-chimie de l'estuaire.

3.1 Réchauffement des eaux

Les températures des eaux relevées dans le réseau témoignent de l'impact du changement climatique et confirment l'élévation progressive de la température moyenne des eaux estuariennes (2 à 3°C sur 30 ans). Précisons que pour le GIEC, en 2030 on aura 2°C de plus température de l'air en moyenne annuelle et +4°C en période estivale. En 2100, il est prévu 4°C de plus en moyenne annuelle et +10°C en période estivale.

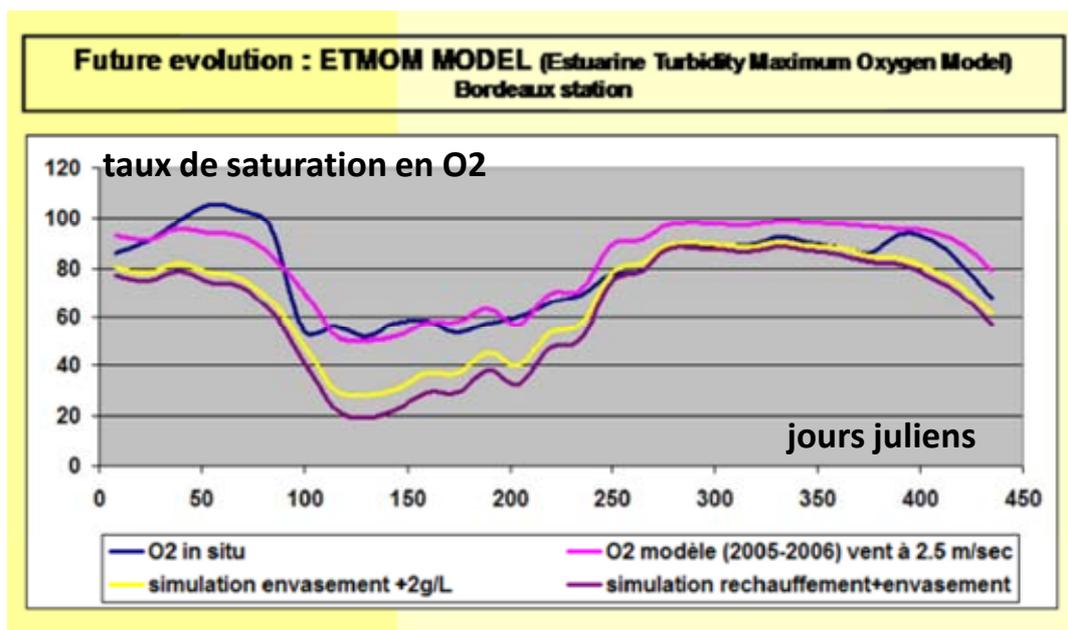
3.2 Marinisation de l'estuaire

De même, les salinités mesurées témoignent d'une « marinisation » probable de l'estuaire, avec des enregistrements de salinité sensible à Bordeaux, de l'ordre de 2 à 5 ‰ lors des étiages prononcés. Ces valeurs n'ont pas été relevées dans la littérature lors des décennies antérieures et indiquent donc une claire évolution de ce paramètre.

3.3 Evolution probable de l'oxygénation des eaux

Du fait des évolutions évoquées ci-dessus, il faut donc s'attendre à une remontée plus importante du bouchon vaseux et à une augmentation de la turbidité liée à une section fluviale plus étroite en amont. De plus, le temps de résidence des masses d'eau va augmenter, notamment autour de Bordeaux, ce qui risque de réduire les teneurs en oxygène suite à l'accumulation des émissions d'effluents riches en matières organiques dégradables.

L'intégration de ces informations et hypothèses dans le modèle ETMOM permet de simuler les évolutions futures de la teneur en oxygène sur Bordeaux et ses environs.



Les différents scénarii d'évolution future de l'oxygénation des eaux au sein du bouchon vaseux dans les parties fluviales de l'estuaire tendent à montrer que, si les tendances et les politiques de gestion actuelles persistent, les phénomènes de sous-oxygénation risquent de s'aggraver. Les conditions de vie des poissons, notamment migrateurs, pourraient alors se dégrader fortement dans le futur.